

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 特 許 公 報 (B 2) (11) 特許番号

特許第3036254号

(P 3 0 3 6 2 5 4)

(45) 発行日 平成12年4月24日(2000. 4. 24)

(24) 登録日 平成12年2月25日(2000. 2. 25)

(51) Int. Cl. ⁷

識別記号

F I

G 0 2 F 1/377

G 0 2 F 1/377

H 0 1 S 3/1055

H 0 1 S 3/1055

5/14

5/14

請求項の数 8 (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願平4-252438
(22) 出願日 平成4年9月22日(1992. 9. 22)
(65) 公開番号 特開平6-75261
(43) 公開日 平成6年3月18日(1994. 3. 18)
審査請求日 平成9年7月11日(1997. 7. 11)
(31) 優先権主張番号 特願平4-45319
(32) 優先日 平成4年3月3日(1992. 3. 3)
(33) 優先権主張国 日本(J P)
(31) 優先権主張番号 特願平4-182030
(32) 優先日 平成4年7月9日(1992. 7. 9)
(33) 優先権主張国 日本(J P)

(73) 特許権者 000005821
松下電器産業株式会社
大阪府門真市大字門真1006番地
(72) 発明者 北岡 康夫
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内
(72) 発明者 山本 和久
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内
(72) 発明者 水内 公典
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内
(74) 代理人 100097445
弁理士 岩橋 文雄 (外2名)

審査官 佐藤 宙子

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 短波長光源

1

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】 半導体レーザーと、回折格子が形成されたフィードバックをかけるための外部共振器鏡と、波長変換のための擬位相整合方式(QPM)分極反転導波路とを備え、前記外部共振器鏡が前記半導体レーザーと前記QPM分極反転導波路の間に位置し、前記外部共振器鏡により前記半導体レーザーの発振波長を前記QPM分極反転導波路の位相整合波長許容幅内に安定化し、なおかつ前記半導体レーザーの出射光が前記導波路に導かれることを特徴とする短波長光源。

【請求項2】 半導体レーザーと、回折格子が形成されたフィードバックをかけるための外部共振器鏡と、レーザー発振材料及び出力ミラーからなる共振器構造を備え、前記共振器構造内部に波長変換用の非線形光学材料を有し、前記外部共振器鏡を前記半導体レーザーと前記

2

レーザー発振材料の間に位置し、前記外部共振器鏡により前記半導体レーザーの発振波長を前記レーザー発振材料の吸収スペクトル波長内に安定化し、なおかつ前記半導体レーザーの出射光が前記レーザー発振材料の端面に導かれることを特徴とする短波長光源。

【請求項3】 外部共振器型半導体レーザーの外部共振器鏡において、外部共振器鏡上の回折格子により帰還されない光を反射光(0次回折光)とし、前記QPM分極反転導波路に導くことを特徴とする請求項1に記載の短波長光源。

10

【請求項4】 外部共振器型半導体レーザーの外部共振器鏡において、外部共振器鏡上に円、楕円或いは方形の開口を空けることによって、前記半導体レーザー光を前記QPM分極反転導波路に導くことを特徴とする請求項1に記載の短波長光源。

【請求項5】 外部共振器鏡上の回折格子が、2次回折光を半導体レーザーの活性層に集光して光帰還させることができ、1次回折光を前記QPM分極反転導波路に導くことを特徴とする請求項1に記載の短波長光源。

【請求項6】 外部共振器型半導体レーザーの外部共振器鏡において、外部共振器鏡上の回折格子により帰還されない光を反射光（0次回折光）とし、前記レーザー発振材料に導くことを特徴とする請求項2に記載の短波長光源。

【請求項7】 外部共振器型半導体レーザーの外部共振器鏡において、外部共振器鏡上に円、楕円或いは方形の開口を空けることによって、前記半導体レーザー光を前記レーザー発振材料に導くことを特徴とする請求項2に記載の短波長光源。

【請求項8】 外部共振器鏡上の回折格子が、2次回折光を半導体レーザーの活性層に集光して光帰還させることができ、1次回折光を前記レーザー発振材料に導くことを特徴とする請求項2に記載の短波長光源。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、高密度光ディスクシステム等に使用する半導体レーザーと、分極反転導波路や固体レーザーを組み合わせた短波長光源の出力安定化及び高効率化に関するものである。

【0002】

【従来の技術】半導体レーザーを励起光源として高効率波長変換によりグリーン、ブルー光源を得ることが、光ディスクの高密度記録や画像処理等で要求されている。ここで得られる出力光は横モードがガウシアンで回折限界近くまで集光でき、且つ出力が数mW程度で周波数的にも時間的にも安定であることが必要である。

【0003】半導体レーザーを光源としてmW以上の高出力短波長光源を得るには、波長変換素子として擬位相整合（以下、QPMと記す。）方式の分極反転導波路（山本他、オプティクス・レターズ Optics Letters Vol.16, No.15, 1156 (1991))を用いたり、半導体レーザーを励起光源として固体レーザーの共振器内部に波長変換素子を挿入して高調波を得る内部共振器型が有力である。

【0004】図18に、半導体レーザーとQPM分極反転導波路を用いた短波長光源の概略構成図を示す。半導体レーザー101から放射された光は、コリメートレンズ102により平行ビームに変換され、λ/2板103で偏向方向を回転させ、N.A.=0.6のフォーカシングレンズ104により導波路の入射端面105に集光される。そして波長変換されたブルー光が得られる。半導体レーザーへの戻り光を避けるため入射端面105には無反射コートを施してあるが、端面105から約1%の戻り光が生じる。

【0005】図19に、半導体レーザー励起固体レーザ

ーの内部共振器型短波長光源の概略構成図を示す。半導体レーザーJ01から放射された光は、コリメートレンズJ02により平行ビームに変換され、フォーカシングレンズJ03によりレーザー材料（Nd:YVO₄）J04に集光される。Nd:YVO₄J04の端面J05には半導体レーザーの波長(809nm)に対し無反射(AR)コート、発振波長(1.064μm)及び高調波の波長(532nm)に対し高反射(HR)コートが施してある。端面J06には1.064μm及び532nmに対しARコートが施してある。出力ミラーJ07には波長1.064μmに対しHRコートが施してあり、出力ミラーJ07とレーザー材料J04の端面J05で基本波1.064μmの共振器を構成し、非線形光学材料KTP(KTiOP₄)J08で波長変換された高調波が出力ミラーJ07から得られる。

【0006】一方、光通信分野で周辺温度が変化しても安定に単一波長で単一縦モード発振する半導体レーザーが要求されている。半導体レーザーを安定に発振させる方法として外部共振器型半導体レーザーが有力視されている（朝倉他、昭和62年度電子情報通信学会全国大会）。

【0007】図20に外部共振器型半導体レーザーの概略構成図を示す。K01は1.3μm帯のファブリペロー型半導体レーザー、K02はN.A.=0.6のコリメートレンズ、K03は半導体レーザーの光軸に対して傾斜して配置された外部共振器鏡であり、その表面の一部には反射型直線形状の回折格子K04が形成されている。

【0008】半導体レーザーの片端面K05から放射された光は回折格子K04の波長分散効果によりある特定の波長λだけが半導体レーザーの片端面K05に集光され活性層K06に光帰還する。他の波長λ'の光は活性層K06の周辺部に集光されるように設計してある。特定の波長λは、回折格子のピッチと基板の傾斜角に因って決まる。片端面K05には無反射コートが施してある。

【0009】回折格子K04の形成方法について説明する。反射型回折格子はSi基板上に電子線レジストを形成し、電子ビームを照射しその部分を除去することで形成している。その表面には高反射を得るためAuの薄膜を形成してある。

【0010】図21にコリメートレンズの省いた外部共振器型半導体レーザーの概略構成図を示す。回折格子L03の形状が図20とは違い円群の一部となっている以外は、図20と同じ構成になっている。コリメートレンズを省くことで共振器長を短くでき変調周波数が向上できる。（特願平1-30547 外部共振型半導体レーザー及び波長多重光伝送装置）

【0011】この系により、約1.3μmの波長で単一縦モード発振が実現できる。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】図18に示す概略構成

図において、半導体レーザーの導波路内への入射光強度35mWに対し1.1mWのブルー光を得た。しかし、QPM分極反転導波路素子は波長許容度が0.2nmしかなく、また半導体レーザーの温度の変化に対する発振波長の揺らぎが0.2nm/℃あり、戻り光によるモードホップが1nm程度あるため、出力は数秒しか安定しない。そのため、半導体レーザーの波長安定化が不可欠となる。

【0013】また、図19に示す概略構成図において、従来までは半導体レーザーは縦モードがマルチモードの高出力レーザーを励起光源として用いていた。しかし、最近になって縦モードシングルの半導体レーザーの高出力化が進んできた。シングルモード半導体レーザーのNd:YVO₄への励起強度が50mWに対し3mW程度のグリーン光を得ている。同等のグリーン光をマルチモードの半導体レーザーで得るには約3倍の入射強度が必要であると報告されている。(第39回応用物理学 1992年 春季 31a-E-7) Nd:YVO₄の端面J05に施してある半導体レーザーの波長に対するARコートが透過率T=93%程度しか無いため半導体レーザーへの戻り光が生じる。半導体レーザーの縦モードがマルチモードである場合には戻り光の影響が大きくはなかった。しかし高効率化を図るため縦モードシングルのものを使用した場合、戻り光が生じるとモードホップや縦モードのマルチ化が起こる。レーザー材料の吸収スペクトルの半値幅はNd:YVO₄の場合数nmであり、モードホップや縦モードのマルチ化は出力ノイズの原因となる。そのため、半導体レーザーの波長安定化が不可欠となる。

【0014】概略構成図18、19において戻り光対策としては、アイソレータを用いるか入射端面のARコートの向上が考えられる。しかし、アイソレータは高価で大きなものしか無いいため素子の小型化が難しく、さらに半導体レーザー自身の温度変化に対する波長の揺らぎを防ぐことができないため、実用的でない。また、ARコートの向上は現状の技術では難しい状態である。

【0015】また、通信用にはなく励起光源用として半導体レーザーを用いる場合、波長をロックさせると共に高効率に出力を取り出さねばならない。

【0016】本発明は以上示したような半導体レーザーと分極反転導波路や固体レーザーを組み合わせた短波長光源の課題を克服し、小型で高効率且つ安定な高調波出力を提供することを目的とする。

【0017】

【課題を解決するための手段】本発明は、

(1) 半導体レーザーと、回折格子が形成されたフィードバックをかけるための外部共振器鏡と、波長変換のための擬位相整合方式(QPM)分極反転導波路とを備え、外部共振器鏡が半導体レーザーとQPM分極反転導波路の間に位置し、前記外部共振器鏡により前記半導体レーザーの発振波長を前記QPM分極反転導波路の位相整合波長許容幅内に安定化され、なおかつ前記半導体レ

ザーの出射光が前記導波路に導かれることにより小型で高効率且つ安定に高調波出力を得ようとするものである。

【0018】

【0019】本発明は、

(2) 励起用の半導体レーザーと、回折格子が形成されたフィードバックをかけるための外部共振器鏡と、レーザー発振材料及び出力ミラーからなる共振器構造を備え、前記共振器構造内部に波長変換用の非線形光学材料を有し、前記外部共振器鏡を前記半導体レーザーと前記レーザー発振材料の間に位置し、前記外部共振器鏡により前記半導体レーザーの発振波長を前記レーザー発振材料の吸収スペクトル波長内に安定化され、なおかつ前記半導体レーザーの出射光が前記レーザー発振材料の端面に導かれること高効率且つ安定に高調波出力を得ようとするものである。

【0020】また本発明は、

(3) 外部共振器鏡はレーザーの光線軸に対して傾きを与えるか、円、楕円或いは方形の開口を開けることにより、半導体レーザーの活性層の片端面から放射する発散光のうち特定波長の光だけを活性層に集光して光帰還する機能を有するものである。

【0021】(4) 外部共振器鏡上の回折格子の回折効率を低くすることで、その反射光(0次回折光)をレーザー出力として利用し、また開口を持つ外部共振器鏡に対してはその開口からレーザー光を取り出す機能を有するものである。

【0022】さらに本発明は

(5) 外部共振器鏡上の回折格子は、2次回折光を半導体レーザーの活性層に集光して光帰還させることができ、1次回折光をコリメートされた出力光として取り出せるコリメートレンズの機能を有するものである。

【0023】

【作用】本発明は、回折格子が形成されフィードバックをかけるための外部共振器鏡と半導体レーザーを組み合わせ、回折格子からの回折光を半導体レーザーに帰還して半導体レーザーの縦モードをシングルモードに固定でき、波長変換素子やレーザー材料端面からの戻り光によるモードホップ、マルチモード化を抑制できるため、安定なグリーンやブルーの高調波光が実現されるものである。

【0024】更に本発明は、外部共振器鏡をレーザー光の出射側に設置する。外部共振器鏡を半導体レーザーの後端面側に設置する場合、回折格子の回折効率を高くしないと全て共振器のロスとなってしまうが、出射側に設置する場合回折効率を低くしても有効に出力光として取り出せるため、高効率な高調波光が実現されるものである。

【0025】

【実施例】参考例の外部共振器型半導体レーザーとQPM

M分極反転導波路を用いた短波長光源の概略構成図を図1及び図2に示す。

【0026】図1はコリメートレンズを用いた概略構成図で、101は0.83 μ m帯の50mW級AlGaAs半導体レーザー、102はN.A.=0.6のコリメートレンズ、103は半導体レーザーの光軸に対して θ だけ傾斜して設置された外部共振器鏡であり、その上には反射型の回折格子104が形成されている。

【0027】半導体レーザーの後端面105から出射したレーザー光はN.A.=0.6のコリメートレンズ102により平行光にされ回折格子104の波長分散効果によりある特定の波長だけが半導体レーザーの後端面105に集光され活性層106に光帰還して半導体レーザーの波長が安定化する。回折格子104は、次式ピッチdを持つ直線形状の回折格子である。

$$【0028】d = \lambda / (2 \sin \theta) \quad (1)$$

本参考例においては、 λ (LDの発振波長) = 0.83 μ m に対し、 $d = 0.83 \mu\text{m}$ 、 $\theta = 30^\circ$ とした。後端面105には無反射コートが施してあり、後端面105と出射端面107で形成される共振器による発振は抑圧されている。この場合、外部共振器鏡からのフィードバック効率は90%以上が得られ、40mWのレーザー光が端面107より得られた。

【0029】端面107から出射した波長830nmのレーザー光は、コリメートレンズ108で平行光にし $\lambda/2$ 板109で偏向方向を回転させ、N.A.=0.6のフォーカシ

$$x^2 + (y - f \sin \theta)^2 = (m\lambda/2 + f)^2 - (f \cos \theta)^2 \quad (3)$$

ここでx、yは回折格子の形成される平面基板上の直交座標であり、fは活性層端面と直交座標の原点との距離、 θ は活性層端面と原点を結ぶ軸と回折格子の形成された平面基板の垂線とのなす角、 λ は半導体レーザーの発振波長、mは整数である。 $\lambda = 0.809 \mu\text{m}$ 、 $f = 2\text{mm}$ 、 $\theta = 45^\circ$ を用いて外部共振器鏡を作製したところ、電子ビームの描画可能領域が1mm角程度であるのでフィードバック効率は30%程度で、得られたレーザー光も10mW程度であった。

【0033】他の参考例として外部共振器型半導体レーザーと内部共振器型固体レーザーを用いた短波長光源の概略構成図を図4及び図5に示す。

【0034】図4はコリメートレンズを用いた概略構成図で、401は809nm帯の60mW級AlGaAs半導体レーザー、402はN.A.=0.6のコリメートレンズ、403は半導体レーザーの光軸に対して θ だけ傾斜して設置された外部共振器鏡であり、その上には反射型の回折格子404が形成されている。

【0035】半導体レーザーの後端面405から出射したレーザー光はN.A.=0.55のコリメートレンズ402により平行光にされ回折格子404の波長分散効果によりある特定の波長だけが半導体レーザーの後端面405に集光され活性層406に光帰還して半導体レーザーの波

ングレンズ110で導波路端面111に集光され、周期3.7 μ mの分極反転層と光導波路を持つ分極反転導波路113を伝搬した光は波長415nmに波長変換され、高調波光が導波路端面112より出射される。

【0030】図2はコリメートレンズを省いた概略構成図である。図1と異なる点はコリメートレンズ102を省くことにより発散光を直接フィードバックするための回折格子202をもつことである。回折格子202の形状は図1の直線形状でなく円群の一部からなる。この場合部品点数が1つ減り、共振器長も短くなりコンパクトな構成となる。

【0031】図3を用いて外部共振器鏡の設計原理を示す。回折格子の形成される平面基板上にx、yの直交座標系を仮定し、光の発散点及び集光点となる活性層端面Pが前記座標の原点からの垂線に対し、y軸方向に θ の角をなす線上に存在し、且つ距離fの位置に存在するとする。Pから放射した光は回折格子上の点Gに到達し反射されてP点に戻る時、その光の位相が揃うように回折格子が形成されているとき外部共振器鏡として働く。即ち、

$$2PG = m\lambda + (\text{定数}) \quad (2)$$

ここでPGは点Pと点Gの距離、 λ は半導体レーザーの波長、mは整数である。原点における前記定数を零とすると次式のようになる。

【0032】

長が安定化する。回折格子404は、概略構成図1と同じピッチdを持つ直線形状の回折格子である。本参考例においては、 λ (LDの発振波長) = 809nm に対し、 $d = 809\text{nm}$ 、 $\theta = 30^\circ$ とした。後端面405には無反射コートが施してあり、後端面405と出射端面407で形成される共振器による発振は抑圧されている。この場合、外部共振器鏡からのフィードバック効率は90%以上が得られ、45mWのレーザー光が端面407より得られた。

【0036】端面407から出射した波長809nmのレーザー光は、コリメートレンズ408で平行光にし、焦点距離 $f = 12.5\text{mm}$ のフォーカシングレンズ409でレーザー材料Nd:YVO₄ 410に集光される。Nd:YVO₄ 410の端面411には半導体レーザーの波長(809nm)に対しARコート、発振波長(1.064 μ m)及び高調波の波長(532nm)に対しHRコートが施してある。端面412には1.064 μ m及び532nmに対しARコートが施してある。出力ミラー413には波長1.064 μ mに対しHRコートが施してあり、出力ミラー413とNd:YVO₄の端面411で基本波1.064 μ mの共振器を構成し、非線形光学材料(KTP) 414で波長変換された高調波が出力ミラー413から得られる。

【0037】図5はコリメートレンズを省いた概略構成図である。図4と異なる点はコリメートレンズ402を

省くことにより発散光を直接フィードバックするための回折格子502をもつことである。回折格子502の形状は図1の直線形状でなく図3を用いて説明した円群の一部からなる。この場合部品点数が1つ減り、共振器長も短くなりコンパクトな構成となる。

【0038】本発明の実施例として出射側に外部共振器鏡を設置し半導体レーザーと分極反転型導波路を組み合わせた短波長光源の概略構成図を図6に、内部共振器型固体レーザーを用いた短波長光源の概略構成図を図7に示す。

【0039】601は0.83 μ m帯の50mW級AlGaAs半導体レーザー、602はコリメートレンズ、603は $\lambda/2$ 板、604はN.A.=0.6のフォーカシングレンズ、605は半導体レーザーの光軸に対して θ だけ傾斜して設置された外部共振器鏡であり、その上には反射型の回折格子606が形成されている。回折格子606の形状は

(1)式で与えられるピッチをもつ直線形状である。半導体レーザーの後面側に外部共振器鏡を置く場合、コリメートレンズを設置することで光軸調整が困難になったり、電子ビーム描画可能領域の制限によりフィードバック効率上限があったりした。ところが出力側に置く場合には、10%程度が回折格子606により半導体レーザーの活性層609に帰還されれば波長安定化が図れ、それ以外の帰還しない光は全て反射光として取り出すことができるので、90%近くをレーザー出力として取り出すことが出来る。半導体レーザー601の後端面607には高反射率コートが、また出射端面608には無反射コートが施してある。外部共振器鏡で反射した波長830nmのレーザー光は、N.A.=0.55のコリメートレンズ602で平行光にし $\lambda/2$ 板603で偏向方向を回転させフォーカシングレンズ604で導波路端面610に集光され、周期3.7 μ mの分極反転層をもつ分極反転型波路612を伝搬した光は波長415nmに波長変換され、導波路端面611より出射される。

【0040】同様に概略構成図7において、701は809nm帯の60mW級AlGaAs半導体レーザー、702はコリメートレンズ、703はf=12.5mmのフォーカシングレンズ、707は半導体レーザーの光軸に対して θ だけ傾斜して設置された外部共振器鏡であり、その上には反射型の回折格子704が形成されている。回折格子704の形状は(1)式で与えられるピッチを持つ直線形状である。入射角30°に対し深さ0.29 μ m、ピッチ0.83 μ mの時、回折率は10%程度が得られ、安定な単一モード発振が得られた。この時の半導体レーザーの縦モードスペクトルを図8に示す。半導体レーザーの端面705から放射された光はコリメートレンズ702により平行光にされ回折格子704が形成された外部共振器鏡707により一部が半導体レーザーの活性層706に帰還し、残りは反射光(0次回折光)として、f=12.5mmのフォーカシングレンズ703によりNd:YVO₄708の端面709

に集光される。出力ミラー710とNd:YVO₄の端面709で共振した基本波は非線形光学結晶711により波長変換され出力ミラー710より出射される。

【0041】図9、10に内部共振器型グリーン光源から出射された高調波出力の時間特性を示す。図9は図8のように半導体レーザーの縦モードがシングルモードの時の出力特性を示し、図10は半導体レーザーの縦モードがマルチ状態になったときの出力特性を示す。図からも半導体レーザーの縦モードシングル化が出力の安定化に於て絶対条件であることが分かる。同様に図6の分極反転型波長変換素子においても半導体レーザーの波長を縦モードシングルに保ち、波長の揺らぎを素子の波長許容幅0.2nm以内に抑えることができ安定に高調波出力を得ることができた。

【0042】尚、図6、7の概略構成図で用いられている外部共振器鏡は回折効率が10%程度で直線形状の回折格子であるため作製が容易で、実用的な構成である。

【0043】尚、前記概略構成図6、7に於て、外部共振器鏡上全体に回折格子が形成されているが、図11のようにフィードバック効率が10%程度になるように、外部共振器鏡B04の一部に円、楕円及び方形等の回折格子B05を形成して、波長安定化を図ることもできる。

【0044】また、図12のように外部共振器鏡C04に円、楕円或いは方形の開口を空けることによっても出力光を取り出せ、開口部周辺の回折格子C05により波長安定化を図ることが出来る。この場合、個々の部品を直線状に並べることができる。

【0045】図13は外部共振器鏡をコリメートレンズと半導体レーザーの間に設置した概略構成図を表している。D01は809nm帯の60mW級AlGaAs半導体レーザー、D02はコリメートレンズ、D03はf=12.5mmのフォーカシングレンズ、D04は半導体レーザーの光軸に対して θ だけ傾斜して設置された外部共振器鏡であり、その上には反射型の回折格子D05が形成されている。回折格子の形状は(3)式で与えられる円群の一部である。半導体レーザーの光をコリメートする前に外部共振器鏡により活性層に帰還する方法では外部共振器鏡の回折効率が低く効率が上がらなかったが、図13の概略構成図においては10%以下の回折効率でよいので高効率にレーザー光を利用することができる。

【0046】尚、前記概略構成図に於て、外部共振器鏡の反射光を出力光として取り出しているが、図14や図15のような概略構成図のように外部共振器鏡E04、F04に円、楕円或いは方形の開口を空けることによっても出力光を取り出せ、開口部周辺の回折格子E05、F05により波長安定化を図ることが出来る。この場合、個々の部品を直線状に並べることができる。

【0047】また、図16のような概略構成図では、外部共振器鏡G03上の回折格子G04が、2次回折光を半導体レーザーG01の活性層に集光して光帰還させる

ことができ、1次回折光をコリメートされた出力光として取り出せるコリメートレンズの機能を有するため、コリメートレンズを省略することができ小型化を図れる。図16において、2次回折光が光帰還し1次回折光がコリメートさせることができる回折格子G04は、同じ波長 λ と同じ入射角 θ に対し2倍のピッチ d を有するものである。波長809nmの半導体レーザーに対し、回折格子はピッチ(d)1.51 μm 、深さ0.56 μm 、入射角(θ)33.4°に設計した。この時、1次の回折効率は50%以上、2次の回折効率は20%程度が得られた。コリメートされた1次回折光はフォーカシングレンズG02でNd:YVO₄G05の端面G06に集光され、出力ミラーG07とNd:YVO₄G05の端面G06で共振した基本波は非線形光学結晶G08により波長変換され出力ミラーG07より出射される。

【0048】以上、図1から図16(図3及び図8、9、10を除く)までの概略構成図は半導体レーザーの偏光方向と回折格子の溝の方向が平行になるように外部共振器鏡を設置しているが、図17のように偏光方向と溝の方向を垂直にしてもよい。

【0049】また、図11から図17において外部共振器型半導体レーザーと内部共振器型固体レーザーを組合せた短波長光源を用いて説明したが、QPM分極反転導波路を用いても同じように安定で高効率の高調波出力を得ることができる。

【0050】尚、本実施例では分極反転型導波路においては分極反転の周期にあった波長830nmに、またレーザー材料にNd:YVO₄を用いた固体レーザーにおいては半導体レーザーの波長をNd:YVO₄の吸収スペクトルの中心波長809nmに固定したが、外部共振器鏡と光軸の角度 θ を変えることによりレーザーの波長は任意に選択することができるため、分極反転の周期を変化させ他の他の波長帯の半導体レーザーを用いたり、他の固体レーザー材料、例えば希土類をドープしたYAG、LiSrF、LiCaF、YLF、NaB、KNP、LNP、NYAB、NPP、GGGのような材料にも用いることもでき、近赤外光や波長変換により他の可視光(赤色や青色 etc.)を得ることができる。内部共振器型の場合、波長変換材料として本実施例ではKTP(KTiPO₄)を用いたが、有機非線形光学材料や他の無機非線形光学材料、例えばKN(KNbO₃)、KAP(KAsPO₄)、BBO、LBOや、バルク型の分極反転素子(LiNbO₃、LiTaO₃等)を使用することもできる。

【0051】また、Ho、Er、Tm、Sm、Nd等の希土類をドープしたフッ化物ファイバーを用いたアップコンバージョンによるレーザーの励起光源用半導体レーザーにも用いることができる。

【0052】

【発明の効果】本発明は、回折格子が形成されたフィードバックをかけるための外部共振器鏡を半導体レーザーの出射側に設置した半導体レーザーと、分極反転型導波

路や内部共振器型固体レーザーを組み合わせることで安定なグリーンやブルーの短波長光源が実現されるので、出力が低ノイズで安定であることが必要とされる光ディスク用の光源を実現できその実用的効果は大きい。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の外部共振器型半導体レーザーとQPM分極反転導波路の組み合わせによる短波長光源の概略構成図

【図2】本発明の外部共振器型半導体レーザーとQPM分極反転導波路の組み合わせによる短波長光源の概略構成図

【図3】外部共振器鏡上の回折格子の設計原理図

【図4】本発明の外部共振器型半導体レーザーと内部共振器型固体レーザーの組み合わせによる短波長光源の概略構成図

【図5】本発明の外部共振器型半導体レーザーと内部共振器型固体レーザーの組み合わせによる短波長光源の概略構成図

【図6】本発明の外部共振器型半導体レーザーとQPM分極反転導波路の組み合わせによる短波長光源の概略構成図

【図7】本発明の外部共振器型半導体レーザーと内部共振器型固体レーザーの組み合わせによる短波長光源の概略構成図

【図8】波長がロックされたときの半導体レーザーのスペクトルを示す図

【図9】半導体レーザーの縦モードが外部共振器鏡により安定にシングルモード化されたときの出力の時間特性を示す図

【図10】半導体レーザーの縦モードがマルチモード時の出力の時間特性を示す図

【図11】本発明の外部共振器型半導体レーザーと内部共振器型固体レーザーの組み合わせによる短波長光源の概略構成図

【図12】本発明の外部共振器型半導体レーザーと内部共振器型固体レーザーの組み合わせによる短波長光源の概略構成図

【図13】本発明の外部共振器型半導体レーザーと内部共振器型固体レーザーの組み合わせによる短波長光源の概略構成図

【図14】本発明の外部共振器型半導体レーザーと内部共振器型固体レーザーの組み合わせによる短波長光源の概略構成図

【図15】本発明の外部共振器型半導体レーザーと内部共振器型固体レーザーの組み合わせによる短波長光源の概略構成図

【図16】本発明の外部共振器型半導体レーザーと内部共振器型固体レーザーの組み合わせによる短波長光源の概略構成図

【図17】本発明の外部共振器型半導体レーザーと内部

共振器型固体レーザーの組み合わせによる短波長光源の概略構成図

【図18】従来の半導体レーザーとQPM分極反転導波路の組み合わせによる短波長光源の概略構成図

【図19】従来の半導体レーザーと内部共振器型固体レーザーの組み合わせによる短波長光源の概略構成図

【図20】従来の外部共振器型半導体レーザーの概略構成図

【図21】従来の外部共振器型半導体レーザーの概略構成図

【符号の説明】

101 半導体レーザー
102 コリメートレンズ
103 外部共振器鏡
104 回折格子
105 端面
106 活性層
107 端面
108 コリメートレンズ
109 $\lambda/2$ 板
110 フォーカシングレンズ
111 端面
112 端面
113 分極反転導波路
201 半導体レーザー
202 外部共振器鏡
203 回折格子
204 コリメートレンズ
205 $\lambda/2$ 板
206 フォーカシングレンズ
207 分極反転導波路
401 半導体レーザー
402 コリメートレンズ
403 外部共振器鏡
404 回折格子
405 端面
406 活性層
407 端面
408 コリメートレンズ
409 フォーカシングレンズ
410 Nd:YVO₄
411 端面
412 端面
413 出力ミラー
414 KTP
501 半導体レーザー
502 外部共振器鏡
503 回折格子
504 コリメートレンズ
505 フォーカシングレンズ

506 Nd:YVO₄
507 出力ミラー
508 KTP
601 半導体レーザー
602 コリメートレンズ
603 $\lambda/2$ 板
604 フォーカシングレンズ
605 外部共振器鏡
606 回折格子
607 端面
608 端面
609 活性層
610 端面
611 端面
612 分極反転導波路
701 半導体レーザー
702 コリメートレンズ
703 フォーカシングレンズ
704 回折格子
705 端面
706 活性層
707 外部共振器鏡
708 Nd:YVO₄
709 出力ミラー
710 KTP
B01 半導体レーザー
B02 コリメートレンズ
B03 フォーカシングレンズ
B04 外部共振器鏡
B05 回折格子
B06 Nd:YVO₄
B07 出力ミラー
B08 KTP
C01 半導体レーザー
C02 コリメートレンズ
C03 フォーカシングレンズ
C04 外部共振器鏡
C05 回折格子
C06 Nd:YVO₄
C07 出力ミラー
C08 KTP
D01 半導体レーザー
D02 コリメートレンズ
D03 フォーカシングレンズ
D04 外部共振器鏡
D05 回折格子
D06 Nd:YVO₄
D07 出力ミラー
D08 KTP
E01 半導体レーザー

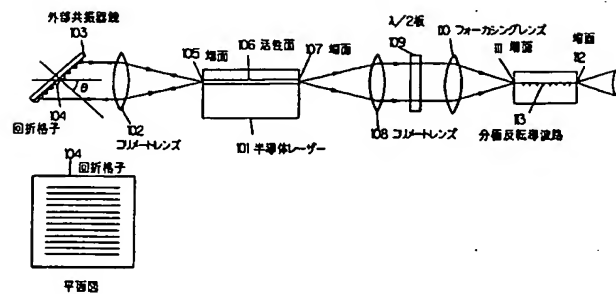
15

E02 コリメートレンズ
 E03 フォーカシングレンズ
 E04 外部共振器鏡
 E05 回折格子
 E06 Nd:YVO₄
 E07 出力ミラー
 E08 KTP
 F01 半導体レーザー
 F02 フォーカシングレンズ
 F03 外部共振器鏡
 F04 回折格子
 F05 Nd:YVO₄
 F06 端面
 F07 出力ミラー
 F08 KTP
 G01 半導体レーザー
 G02 フォーカシングレンズ
 G03 外部共振器鏡
 G04 回折格子
 G05 Nd:YVO₄
 G06 端面
 G07 出力ミラー
 G08 KTP
 H01 半導体レーザー
 H02 コリメートレンズ
 H03 フォーカシングレンズ
 H04 外部共振器鏡

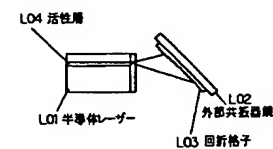
16

H05 Nd:YVO₄
 H06 出力ミラー
 H07 KTP
 I01 半導体レーザー
 I02 コリメートレンズ
 I03 λ/2板
 I04 フォーカシングレンズ
 I05 端面
 I06 分極反転導波路
 J01 半導体レーザー
 J02 コリメートレンズ
 J03 フォーカシングレンズ
 J04 Nd:YVO₄
 J05 端面
 J06 端面
 J07 出力ミラー
 J08 KTP
 K01 半導体レーザー
 K02 コリメートレンズ
 K03 外部共振器鏡
 K04 回折格子
 K05 端面
 K06 活性層
 L01 半導体レーザー
 L02 外部共振器鏡
 L03 回折格子
 L04 活性層

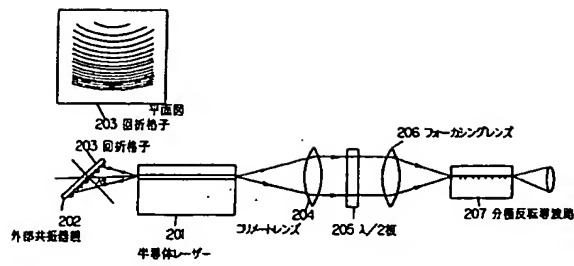
【図1】



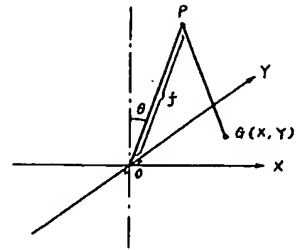
【図21】



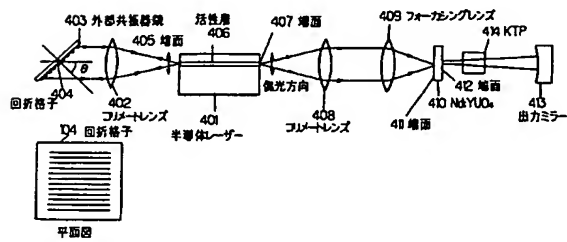
【图 2】



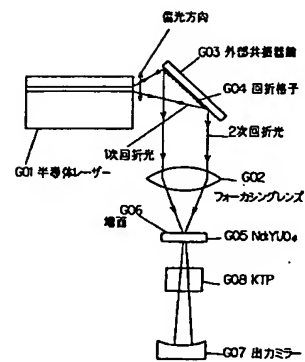
【图 3】



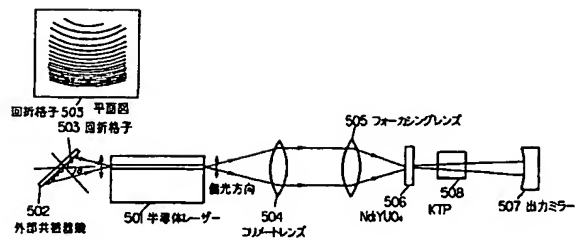
【图 4】



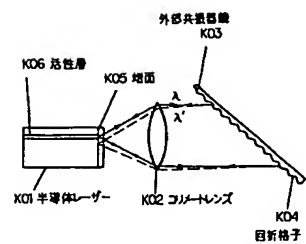
【图 16】



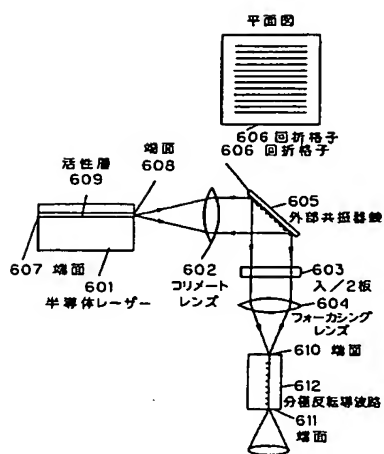
【图 5】



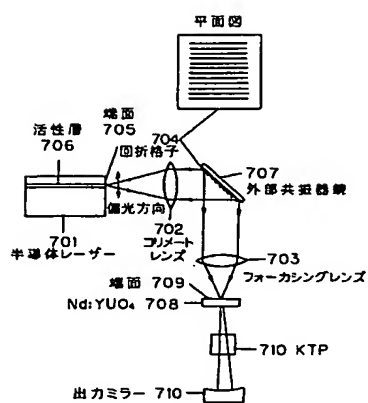
【图 20】



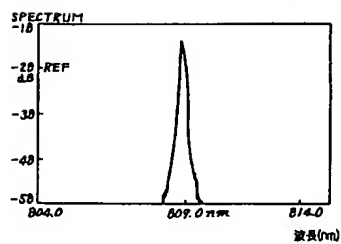
【図6】



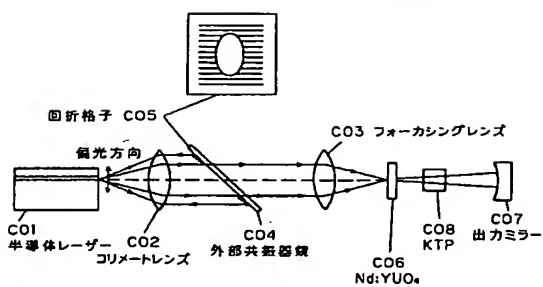
【図7】



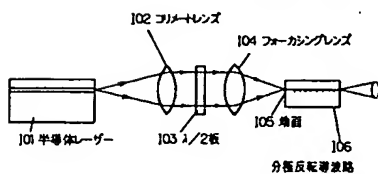
【図8】



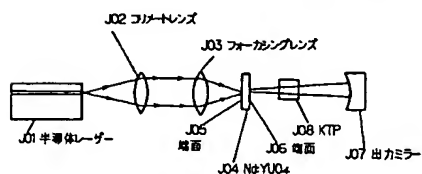
【図12】



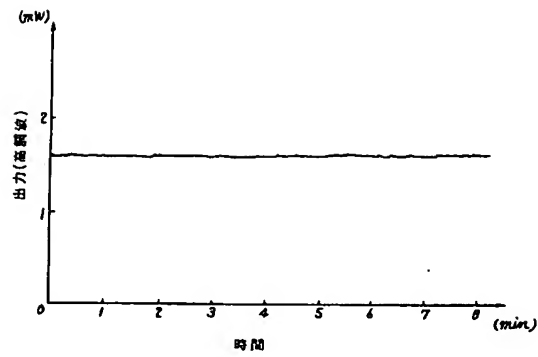
【図18】



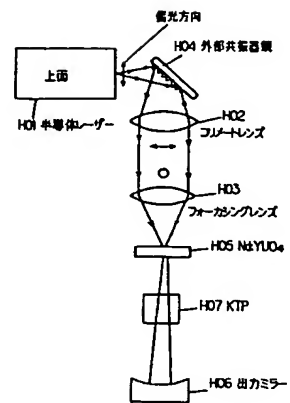
【図19】



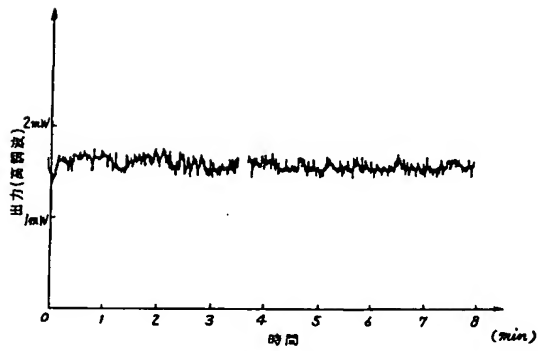
【図9】



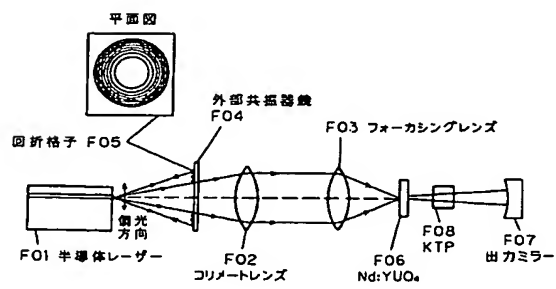
【図17】



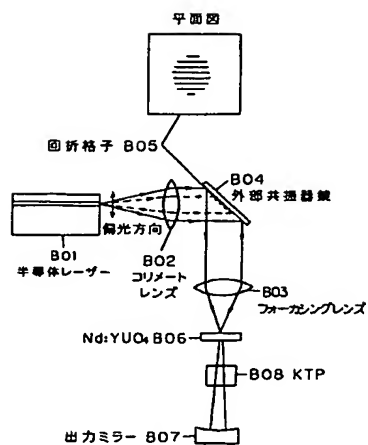
【図10】



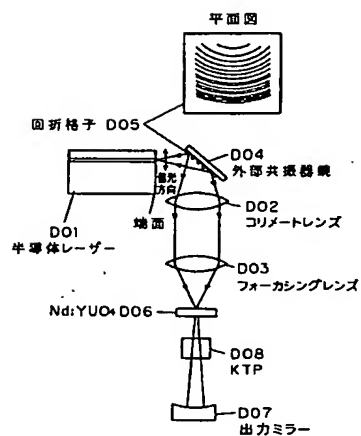
【図15】



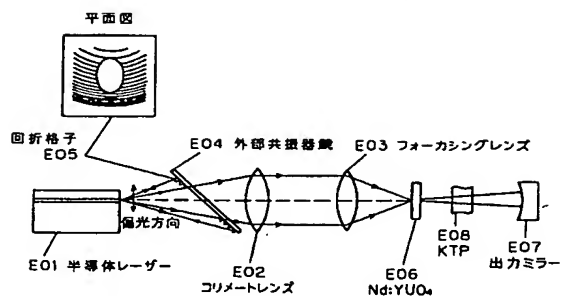
【図11】



【図13】



【図14】



フロントページの続き

(72)発明者 加藤 誠
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電
器産業株式会社内

(56)参考文献 特開 平4-107536 (JP, A)
特開 平5-82872 (JP, A)
特開 平5-160479 (JP, A)
特開 昭64-35423 (JP, A)
特開 平2-209784 (JP, A)
特開 平4-3127 (JP, A)